

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Basel
Vorsteher: Prof. Dr. E. Ludwig

Die elastischen Fasern in den Bändern des menschlichen Fußes

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von

Hermann Straub

von Egnach (Thurgau)



Basel 1950

Verlag von S. Karger in Basel

Von der medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag
von Professor Dr. E. Ludwig.

Tag der Promotion: 17. Mai 1950.



*In Dankbarkeit meinem verstorbenen Vater gewidmet,
der mir meine Studien ermöglicht hat.*

Für die Mithilfe bei der Herstellung der Mikrophographien bin ich Frl. *Irma Tuena* und Herrn *Sutter* vom pathologischen Institut und Herrn *Wolf* vom anatomischen Institut Basel zu großem Dank verpflichtet.

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Basel
Vorsteher: Prof. Dr. E. Ludwig

**DIE ELASTISCHEN FASERN IN DEN BÄNDERN
DES MENSCHLICHEN FUSSES**

von **HERMANN STRAUB**

Daß sogenannte straffe Bänder nicht nur aus kollagenen, sondern auch aus elastischen Fasern bestehen, ist allgemein bekannt, aber genaue Angaben über die Verbreitung derselben und erst recht über ihre Menge und ihre Anordnung sind äußerst spärlich. Und doch ist die Frage berechtigt, ob wirklich alle Bänder, auch die „straffen“ elastisches Material enthalten und ob das Verhalten desselben nicht von Band zu Band wechselt, etwa in dem Sinne, daß bestimmte Beziehungen zur makroskopischen Beschaffenheit oder zur Lage, namentlich aber zur Funktion bestehen.

Um wenigstens fragmentarische Antworten auf diese Fragen zu geben, sind die hier vorgelegten Untersuchungen angestellt worden. Aus äußeren Gründen beschränken sie sich auf Bänder des Fußes. Maßgebend für diese Wahl war, daß die zahlreichen Ligamente am Fuße sehr verschieden beansprucht werden. Wenn sich also überhaupt die elastischen Fasern nicht in allen straffen Ligamenten gleich verhalten, so sind Unterschiede von Band zu Band am Fuße mit der größten Wahrscheinlichkeit zu erwarten.

Ursprünglich bestand der Plan, auch allfälligen individuellen Unterschieden der Fußbänder und ihren Beziehungen zum Alter, zum Geschlecht und zum Körperbautypus nachzugehen, da diese Verhältnisse für pathologische Veränderungen des Fußgewölbes und ihre klinische Beurteilung von Bedeutung sein könnten. Wir sahen aber bald ein, daß zu diesem Zwecke ein ungleich größeres Beobachtungsgut erforderlich gewesen wäre, als es uns zu Gebote stand. Schon die technische Verarbeitung desselben hätte den Rahmen unserer Möglichkeiten weit überschritten. Immerhin gelang es uns, Bänder von Individuen sehr verschiedenen Alters zu untersuchen.

Material.

Mein Untersuchungsgut verdanke ich dem Gerichtsmedizinischen Institut (Prof. Dr. S. Schönberg) und dem Pathologisch-anatomischen Institut (Prof. Dr. A. Werthemann) der Universität Basel. Die Fußbänder der in der Tab. 1 zusammengestellten 16 Individuen, von denen 12 (Nr. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15 der Tabelle 1) eines plötzlichen Todes verstorben waren, standen mir zur Verfügung. Das gesamte Material stammt von frischen Leichen.

Tabelle 1.

	Alter	Körper- bau	Gewicht	Körper- länge	Todesursache
1. ♂	4 Mon.	—	—	—	Erstickung
2. ♀	24 Jahre	athl.	—	—	CO-Vergiftung
3. ♂	25 Jahre	lept. ?	51,7 kg	170,5 cm	Lungen-Tbc.
4. ♂	26 Jahre	lept.	—	—	CO-Vergiftung
5. ♀	26 Jahre	lept.	—	—	CO-Vergiftung
6. ♂	44 Jahre	athl.	—	—	CO-Vergiftung
7. ♀	45 Jahre	pykn.	—	—	Ertrinken
8. ♂	50 Jahre	lept. ?	—	—	Hämoptoe Tbc.
9. ♀	60 Jahre	athl.	—	—	CO-Vergiftung
10. ♂	65 Jahre	pykn.	67,6 kg	167,9 cm	Glom
11. ♂	66 Jahre	pykn.	—	—	Coronarsclerose
12. ♀	67 Jahre	pykn.	—	—	Coronarsclerose
13. ♀	68 Jahre	pykn.	52,0 kg	149,0 cm	Coronarsclerose
14. ♀	73 Jahre	lept. ?	40,4 kg	149,2 cm	Ca ventriculi Myodeg. cordis
15. ♂	76 Jahre	athl.	—	—	Ertrinken
16. ♀	88 Jahre	lept.	51,5 kg	159,0 cm	Mitralinsuffizienz

Bei den Körperbautypen handelt es sich selten um reine Formen; die Einweisung in eine bestimmte Kategorie erfolgte nach den subjektiv am stärksten hervortretenden Merkmalen. Am unsichersten ist sie bei den an Tuberkulose und Carcinom Verstorbenen.

Untersuchungstechnik.

Gewinnung des Materials. Der Tarsus als Ganzes wurde jeweilen von einem Schnitt aus entnommen, der vom distalen Ende der Achillessehne in gerader Richtung über die Planta pedis bis zum Grundphalanxköpfchen der dritten Zehe verlief. Nach Zurückschlagen der Weichteile unmittelbar über den Knochen und Bändern konnte das obere Sprunggelenk unter Belassung seiner Ligamente am Talus und am Calcaneus exartikuliert werden. Distal erfolgte die Durchtrennung im Lisfrancschen Gelenk und zwar so, daß die tarsometatarsalen Bänder so weit als möglich mitkamen. An Stelle des Tarsus wurde ein in der Cruralgabel fixiertes Holzkreuz in die Weichteile eingepaßt, und der plantare Schnitt wurde durch Naht verschlossen. Auf diese Weise ließ sich eine äußerlich sichtbare Verunstaltung des Leichenfußes vermeiden.

16 Leichen wurden 17 Tarsi entnommen. Von diesem Material wurden 76 verschiedene Bänder konserviert, im ganzen 543 Objekte. Oberflächliche Ligamente lösten wir möglichst nahe bei ihren Ansatzstellen ab, Ligamenta interossea blieben mit kleinen Stücken beider Knochen in Verbindung.

Verarbeitung. Sämtliche Bänder, die wir untersuchten, wurden während 12 bis 24 Stunden in „Susa“ fixiert. Die Entkalkung der knochenhaltigen Präparate erfolgte unter Verwendung eines Rührwerkes im Verlaufe von 4 bis 8 Tagen in 5 %iger Trichloressigsäure. Aus der Fixierungs- bzw. Entkalkungsflüssigkeit gelangten die Präparate direkt in 95 %igen Alkohol. Fixierung in *Bouinschem* Gemisch gaben wir auf, da dieses das beim Schneiden ohnehin leicht fasernde straffe Bindegewebe noch spröder zu machen scheint. Formol verhärtet das Material in besonders ungünstigem Maße.

Ungefärbte und wie die später zu erwähnenden Schnitte mit Orcein, Safranelin, Resorcin-Fuchsin gefärbte Zupfpräparate wurden untersucht, ferner Material, das unfixiert, teils in 20 %iger Essigsäure, teils in verdünnter Kalilauge gekocht war (*Romeis* 1948 § 1464). Dabei löst sich das kollagene Gewebe auf und das elastische bleibt in Form von kleinen Knäueln erhalten. Diese Methoden sind für den Nachweis der elastischen Fasern wertvoll; über die Lage und Anordnung derselben kann nur von Schnittpreparaten Aufschluß erwartet werden.

Gewöhnliche oder in Gelatine eingebettete Gefrierschnitte erwiesen sich als unbrauchbar. Daher wurde teils über Methylbenzoat-Benzol (*Romeis* 1948 § 392) in Paraffin eingebettet (483 Bänder), teils in Celloidin (60 Bänder). Die von *Annovazzi* empfohlene Behandlung des Paraffinmaterials mit Diaphanol verbesserte in unseren Händen die Schneidbarkeit nicht, sie wurde daher bald aufgegeben. Die Celloidineinbettung erfolgte in der üblichen Weise, freilich sehr langsam im Verlauf von 5 bis 10 Wochen. Namentlich im 1 %igen Celloidin wurden die Präparate lange belassen, aber auch in den Konzentrationen von 6 und 8 %. Die fertigen Blöcke wurden in unverdünntem Glyzerin nachgehärtet und in 70 %igem Alkohol aufgehoben. Unsere Hoffnung auf besonders gute Schneidbarkeit erfüllte sich indessen nicht, daher verzichteten wir in der späteren Zeit auf das langwierige Verfahren.

Auch die Herstellung der Paraffinschnitte bot mancherlei Schwierigkeiten. Schon die Orientierung der Objekte war vielfach durch Verkrümmung während der Fixierung und Einbettung erschwert. Nach Möglichkeit wurden jedoch sowohl Längs- als auch Querschnitte angefertigt, wobei die ersten, soweit das Material ausreichte, in zwei zueinander senkrechten Ebenen gelegt wurden. Die Schnittdicke mußte sich nach der Beschaffenheit der Blöcke richten, sie schwankt daher zwischen einigen wenigen und 10 μ . Trotz dieser Konzession war es nicht immer möglich, Zerkleinerungen und Stufenbildungen zu vermeiden.

Zur Färbung wurden, vielfach in gemeinsamer Arbeit mit meinem Kollegen *Paul Ledergerber*, nach den Angaben von *Romeis* 1948, Orcein, Resorcin-Fuchsin nach *Weigert* und Resorcinsafranin versucht, unter vielfacher Variierung der Farbstoffkonzentrationen und der Färbezeiten. Die eindeutig besten Resultate ergab die Fuchselinfärbung nach einem im pathologisch-anatomischen Institut Basel ausgebildeten Hausrezept, das eine Variante der *Weigertschen* Methode darstellt. Die von *K. Schulz* und von *Annovazzi* angewandte Orceinfärbung nach *Unna-Tänzer-Livini* ergab keine besseren Resultate. Wie aus den späteren Ausführungen hervorgeht, fanden wir mit unserer Methode elastische Fasern in Bändern, die *Annovazzi* als elastinfrei beschreibt.

Zur Färbung des kollagenen Gewebes wurde Azan nach *Heidenhain, van Gieson* und Tuchehtgelb versucht. Der zuletzt genannte Farbstoff erwies sich in Verbindung mit der Fuchselinfärbung als der geeignetste, da sich die dunkelvioletten elastischen Fasern vom hellgelben kollagenen Gewebe am besten abheben.

Das Vorgehen bei der Färbung war vielleicht nicht in allen Stücken genau dasselbe wie im Pathologisch-anatomischen Institut. Es gestaltete sich im einzelnen folgendermaßen:

1. Die entparaffinierten, von Sublimat und Jod in der üblichen Weise befreiten Schnitte wurden in Aqua dest. gründlich ausgewaschen und dann in 70 %igen Alkohol gebracht.

2. Färbung in Fuchselin während 5 bis 6 Tagen. Zu diesem Zwecke wurde eine 4 %ige Stammlösung von Fuchselin (*Romeis* 1943 § 1561) in Salzsäure-Alkohol hergestellt. (19 Teile 70 %iger Alkohol auf ein Teil 25 %ige Salzsäure). Vor dem Gebrauch wurde diese Stammlösung mit 70 %igem Alkohol zehnfach verdünnt.

3. Differenzierung in Salzsäure-Alkohol der oben mitgeteilten Zusammensetzung ca. 2 Minuten, d. h. bis das kollagene Gewebe ganz entfärbt ist.

4. Kurz in Brunnenwasser, um die Salzsäure zu entfernen.

5. Gegenfärbung mit Tuchehtgelb 5 Minuten.

6. Spülen in 1 %iger Essigsäure 10 Minuten.

7. Aufsteigender Alkohol, Xylol, Balsam.

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der untersuchten Bänder unter Angabe des Alters, des Geschlechtes, des Körperbautypus und der Schnitt- richtung, wobei die Jenaer-Nomenklatur benutzt wurde und in einigen Fällen, die mit F bezeichnet sind, die Nomenklatur nach *Fick*. Wo diese auch nicht genügte, wurden die Ligamente nach den Knochen bezeichnet, die sie verbinden.

Tabelle 2.

Band	No. in Schnitt- Tab. I richtung
1. Lig. tibiofibulare anterius	12 längs
2. Lig. tibiofibulare posterius	5 längs
3. Lig. deltoides pars tibioalcanearis	4 längs
4. Lig. deltoides pars tibiotalaris	4 längs
	6 längs
	12 längs
5. Lig. fibulotalare anterius	7 längs und quer
	8 längs und quer
	9 längs und quer
6. Lig. fibulotalare posterius	5 längs
	7 längs
	8 längs
	12 längs
7. Lig. fibulocalcanearis	8 längs
	12 längs

Band	No. in Schnitt- Tab. 1 richtung
8. Lig. calcaneonaviculare	1 längs 2 längs 5 längs 7 längs 10 längs 12 längs
9. Lig. calcaneonaviculare tibiale (tibialer Teil des Pfannen- bandes)	5 längs 8 längs
10. Lig. plantare longum	4 längs 8 längs 13 längs 16 längs
11. Lig. calcaneocuboideum dorsale	2 längs 5 längs 4 längs 6 längs 8 längs 12 längs
12. Lig. calcaneocuboideum plantare transversum	8 längs 12 längs
13. Lig. calcaneocuboideum plantare obliquum	2 längs 8 längs
14. Lig. talocalcaneare interosseum	5 längs 7 längs und quer 8 längs 12 längs und quer
15. Lig. talocalcaneare fibulare	5 längs 12 längs 16 längs
16. Lig. talocalcaneare tibiale	1 längs und quer 4 längs 8 längs 13 längs
17. Lig. bipartitum pars calcaneonavicularis	6 längs 7 längs 8 längs 9 längs
18. Lig. bipartitum pars calcaneocuboidea	8 längs
19. Lig. talonaviculare	4 längs 7 längs 8 längs

Band	No. in Schnitt- Tab. 1 richtung
20. Fortsetzung der Sehne des musculus tibialis posterior (vom Kahnbeinhöcker zum 3. Keilbein und 3. Metatar- sus)	5 längs 8 längs und quer 9 längs
21. Lig. naviculocuboideum plantare obliquum superius F	4 längs 5 längs 6 längs 7 längs 8 längs
22. Lig. naviculocuboideum dorsale F	5 längs 7 längs
23. Lig. naviculocuboideum interosseum F	4 längs 12 längs und quer
24. Lig. naviculocuneiforme I tibiale	7 längs 8 längs 10 längs
25. Lig. naviculocuneiforme I dorsale	5 längs 8 längs 12 längs 13 längs
26. Lig. naviculocuneiforme I plantare	7 längs 8 längs 1 längs und quer
27. Lig. naviculocuneiforme II dorsale	7 längs
28. Lig. naviculocuneiforme II plantare	5 längs 7 längs 8 längs
29. Lig. naviculocuneiforme III dorsale	4 längs und quer 7 längs und quer 8 längs
30. Lig. naviculocuneiforme III plantare r. u. l.	7 längs 8 längs und quer
31. Lig. cubocuneiforme III dorsale	8 längs
32. Lig. cubocuneiforme III plantare	4 längs 7 längs und quer 8 längs
33. Lig. cubocuneiforme III interosseum	7 längs
34. Lig. cubometatarseum V plantare	5 längs
35. Lig. cuneiforme I-II dorsale	8 längs
36. Lig. cuneiforme I-II interosseum	14 längs
37. Lig. cuneiforme II-III dorsale	8 längs

Band	No. in Schnitt- Tab. I richtung
38. Lig. cuneiforme II–III interosseum.	5 längs 11 längs
39. Lig. cuneiforme II–III plantare	4 längs
40. Lig. cuneiforme I–III dorsale	7 längs
41. Lig. cuneiforme I bis metatarsium II interosseum . . .	5 längs 7 längs
42. Lig. cuneiforme III bis metatarsium IV interosseum . .	10 längs
43. Lig. cuneiforme III bis metatarsium III interosseum . .	12 längs
44. Lig. metatarsium II–III interosseum	6 quer

Allgemeines über elastisches Gewebe.

Entwicklungsgeschichtlich ist für das elastische Gewebe charakteristisch, daß es spät auftritt. *Massiglia* fand in den Gelenkkapseln des Zeigefingers elastische Fasern andeutungsweise erst im dritten bis vierten Schwangerschaftsmonat. Er konnte feststellen, daß sie an Zahl und Dicke bis zum Abschluß des Wachstums zunehmen. Neubildung elastischer Fasern in Narben beschreiben *d'Urso* und *Taddei*. Im Alter nimmt nach *Bargmann* die Masse des elastischen Gewebes im Uterus und in der Mamma erheblich zu. (Eine entsprechende Angabe über straffe Bänder ist uns aus der Literatur nicht bekannt.) Durch gleichzeitige degenerative Veränderungen, die durch Wasserverlust eine Zunahme der inneren Reibung (*Benninghoff*) bedingen, wird jedoch ein Zuwachs an Elastizität verhindert.

Die morphologischen Eigenschaften des elastischen Materials hat in ihren wesentlichen Zügen schon *Kölliker* beschrieben. Er spricht von dunkelrandigen, walzenförmigen oder bandartigen Fasern von immenser Feinheit bis zu $11\ \mu$ Dicke. Diese verzweigen sich spitzwinklig und bilden ohne Enden ein mehr oder weniger lockeres Netz, das sich, namentlich in Gefäßen, bis zur gefensterten Membran verdichten kann. *Bargmann* vergleicht die elastischen Fasern mit glänzenden Glasstäben. Die sogenannten Bischofsstabformen haben als Kunstprodukte zu gelten, die in Zupf- aber auch in Schnittpräparaten durch Zerreißen entstehen. Als elastische Organe führt *Kölliker* neben den Gefäßen die Ligamenta interarcualia, das Septum nuchae, das Ligamentum stylohyoideum, das Ligamentum suspensorium penis, sowie die Sehnen der glatten Muskeln in der Trachea an.

Mit den elastischen Eigenschaften (Dehnbarkeit bis 40 %, Elastizitätsmodul 0,18 bis 0,11), die den Fasern ihr besonderes funktionelles Gepräge geben, haben sich namentlich *Auerbach*, *Triepel*, *His*, *Braun*, *Beclard*, *K. H. Meyer*, und *Ferri* beschäftigt. *Benninghoff* und *Bargmann* vergleichen die elastische Substanz mit Gummi arabicum und sprechen von einer Kraft sparenden Federeinrichtung, deren wechselnde Spannung das Gewebsgefüge den mechanischen Ansprüchen anpaßt und es vor sprunghaften Einwirkungen schützt. Die metamikroskopische Struktur der elastischen Fasern und ihr Verhalten bei Spannung und Entspannung ist in neuerer Zeit mit Hilfe polarisationsoptischer Verfahren untersucht worden. Die im schlaffen Zustande ungeordneten fadenförmigen Skleroproteinmoleküle ordnen sich bei der Dehnung parallel an und bewirken dadurch die Polarisierung des Lichtes.

Hauptsächliche Fundstellen elastischen Materials sind die elastischen Bänder und die Gefäße. Elastisches Gewebe ist stets in kollagenes Bindegewebe eingebaut, und beide ergänzen sich gegenseitig zu fibroelastischen Apparaten. Bei der Ausspannung kollagener Bündel werden die elastischen Fasern ebenfalls gespannt, aber gleichzeitig gedehnt. Sie setzen der Dehnung einen wachsenden Widerstand entgegen. Beim Nachlassen des Zuges verkürzen sie sich und stellen die in entspanntem Zustande bestehende Wellenform der Kollagenfasern wieder her. So dämpfen sie z. B. die Arretierung von Gelenken in extremer Stellung.

Literatur über elastisches Gewebe in straffen Bändern.

Für die sogenannten straffen Bänder begnügen sich die meisten Autoren, wie *Braus, Bucher, Kölliker, Mayer, Merkel, Maximow, Petersen, Ranvier, Rauber-Kopsch, Schaffer, Sobotta, Stöhr, Testut, Toldt, Levi, Livini, Schuhmacher, Benninghoff, Bargmann*, mit der Feststellung, daß diese geringe Mengen elastischer Elemente in Form von äußerst zarten und dünnfädigen Netzen enthalten. Genauere Angaben macht meines Wissens nur ein italienischer Forscher.

Annovazzi untersuchte 67 Bänder von Menschen, vom Hund und vom Pferd und teilte die straffen Bänder in unelastische und elastische ein. Er unterscheidet nach der Menge und der Anordnung der elastischen Fasern vier hauptsächliche Bandtypen.

1. Bänder, die keine elastischen Fasern enthalten, weder im Innern der kollagenen Bündel, noch im lockeren Hüll- und Zwischengewebe derselben.

2. Bänder, die elastische Fasern nur an den Außenflächen der kollagenen Bündel und im Zwischengewebe derselben aufweisen.

3. Bänder, die außerdem noch elastische Fasern im Innern der kollagenen Bündel führen.

4. Bänder mit elastischen Fasern im Innern der kollagenen Bündel, aber ohne solche an der Außenseite derselben.

Der erste Typus soll in reinen Hemmungsbändern realisiert sein, die durch ihre Anspannung lediglich eine Bewegung begrenzen. Als Beispiel wird das Ligamentum fibulotalare anterius angeführt, das die Plantarflexion im oberen Sprunggelenk hemmt. In den Ligamenta talocalcaneare (wobei nicht vermerkt ist, welches gemeint ist), fibulocalcaneare, sowie in den Partes tibiotalaris anterior und tibionavicularis ligamenti deltoidei beschreibt der Autor eine mehr oder weniger große Menge elastischer Fasern. Er zählt offenbar alle diese Bänder zu seinem vierten Typus. Als arm an elastischen Fasern bezeichnet *Annovazzi* die Kollateralbänder des Knie- und Ellenbogengelenkes, die Ligamenta capitis femoris, iliofemorale und pubocapsulare, eine Bändergruppe also, die funktionell nicht einheitlich ist. *Annovazzi* glaubt festzustellen, daß Halte-, Hemmungs- und Führungsbänder keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich ihres Gehaltes an elastischen Fasern darbieten und daß die Unterschiede in der Menge und Anordnung des elastischen Gewebes auf die verschiedene Spannung der Bänder in der Ruhelage „al giuoco degli spostamenti delle varie ossa fra loro nel movimento dell'articolazione“ zurückgeführt werden können.

Fick unterscheidet nach der Funktion Haltebänder, Hemmungsbänder und Führungsbänder. Er betont aber selbst, daß sich eine scharfe Trennung dieser Typen nicht durchführen läßt, da alle drei Funktionen von demselben Bande über-

nommen werden können, wobei natürlich bald die eine, bald die andere im Vordergrund stehen kann. Das legt den Gedanken nahe, daß auch die von *Annovazzi* aufgestellten Typen durch Übergangsformen verbunden sein dürften. Er selbst unterscheidet zwei solcher Zwischenformen.

a) Bänder, die elastische Fasern hauptsächlich longitudinaler Richtung nur in den Hüllen der oberflächlichen Bündel enthalten, in den Hüllen der Tiefe aber keine und ebensowenig im Innern der Bündel selbst.

b) Bänder, deren elastische Fasern im Innern der Bündel wenig zahlreich sind, gegen die Oberfläche aber reichlicher auftreten.

In jüngster Zeit hat *Toni* quantitative Untersuchungen über die elastischen Fasern der Ligamenta interarcualia angestellt. Er zählte die Fasern pro mm² und maß ihre Dicke im Hals-, Brust- und Lendenteil der Wirbelsäule bei Individuen verschiedenen Alters (17–77 Jahre). Er stellte verhältnismäßig große, aber durchaus nicht gleichmäßige Faserkaliber in allen Strecken der Wirbelsäule und in allen Altersstufen fest. Die durchschnittliche Dicke ist lumbal am größten, thorakal am kleinsten, wohl im Zusammenhang mit der durch die Bewegung bedingten Beanspruchung. Im jugendlichen Alter (17–24 Jahre) findet möglicherweise noch eine Neubildung elastischer Fasern statt, im mittleren und höheren Alter nimmt das Kaliber derselben zu. Die Zahl der pro mm² Querschnitt getroffenen Fasern scheint in höherem Alter eine gewisse Tendenz zur Abnahme zu zeigen. Das ist jedoch schwer mit Sicherheit zu beweisen, da die Verteilung innerhalb der Ligamente ungleichmäßig ist.

Beschreibung der Befunde im allgemeinen.

Als wichtigstes Ergebnis ist hervorzuheben, daß ich in keinem der in der Tabelle 2 verzeichneten 44 Fußbänder elastische Fasern vermißte, auch im Ligamentum fibulotalare anterius nicht, von dem *Annovazzi* besonders hervorhebt, es sei elastinfrei. Schon ungefärbte, noch deutlicher gefärbte Zupfpräparate ließen überall elastische Fasern erkennen, z. B. bei der 67jährigen Pyknika, an deren Fuß ich die in der Tabelle 2 mit 3,4,6,7,8,11,12,14,15,23,25 numerierten Bänder an Zupfpräparaten untersuchte. Kochen in Essigsäure oder Kalilauge ergab an denselben Bändern das gleiche Resultat. Schon diese einfachen Methoden zeigen, daß die Menge der elastischen Substanz von Band zu Band wechselt. Auskunft über die topographische Anordnung derselben geben nur zuverlässige Längsschnitte, während Querschnitte für die Beurteilung der Faserzahl und der Faserdicke am geeignetsten sind.

Freie Enden elastischer Fasern habe ich innerhalb der Bänder nie sicher nachweisen können. Die Bischofsstabfiguren in Zupf- und Schnittpräparaten werden ja mit Recht als Reißstellen beurteilt, die retrahiert und eingerollt sind. Mit größter Wahrscheinlichkeit ist also das elastische System ein Kontinuum, das ein Band ohne Unterbruch durchzieht.

Die Anordnung der elastischen Fasern hält sich an den Aufbau der Bänder aus kompakten Bündeln einerseits und aus lockerem, diese umhüllendem, gefäßhaltigem Bindegewebe anderseits. Im Gegensatz zu *Annovazzi* fand ich elastische Fasern ausnahmslos in beiden Bestandteilen, freilich mit in gewissen Fällen erheblichen Unterschieden von Band zu Band, sowohl hinsichtlich ihrer Menge und Dicke, als auch ihrer Lage und Anordnung. Alle von mir untersuchten Bänder wären demnach dem dritten Typus von *Annovazzi* zuzuzählen (Seite 275). Wir betrachten nacheinander das Zwischengewebe und die kompakten Bündel.

Im Zwischengewebe liegt ein ausgesprochenes, aber je nach dem untersuchten Band lockereres oder dichteres Netz elastischer Fasern. Die Dicke der Fäden desselben variiert viel stärker als in den kompakten Bündeln und erreicht die größten Werte, die uns begegnet sind; Querschnitte zeigen das besonders deutlich. In der Nähe von Gefäßen nimmt die elastische Substanz erheblich zu, nicht etwa nur in den Adventitien, sondern auch in der weiteren Umgebung der Arterien und Venen. Schnitte durch stärker gefäßhaltige Partien können in bezug auf das ganze Band zu falschen Vorstellungen führen. Mit dem Netz im Zwischengewebe stehen Fäden in Verbindung, welche die kompakten Bündel zirkulär oder in Schraubentouren umspinnen. Diese Hüllfasern sind an Längsschnitten und Zupfpräparaten am besten sichtbar. Von ihnen aus lassen sich Fasern ins Innere der kompakten Bündel verfolgen.

Diese sind auch hinsichtlich der Zellen ähnlich gebaut wie die Sehnen. Ihre elastischen Fasern weisen geringere Dickenunterschiede auf als im Zwischengewebe. Sie laufen in der Hauptsache den kollagenen Bündeln parallel. Verzweigungen, Aufbündelungen beziehungsweise Zusammenflüsse, die stets unter spitzen Winkeln erfolgen, sind selten. Wenn von Netzen innerhalb der kompakten Stränge überhaupt die Rede sein kann, sind die Maschen derselben schmal und recht lang.

Inbesondere in den *Ligamenta interossea* ließ sich feststellen, daß der größte Teil der elastischen Fasern in die elastischen Geflechte des Periostes übergeht. Wo kollagene Bündel als *Sharpeysche* Fasern im Knochen verankert sind, aber auch ohne besonders sichtbare Beziehung zur Knochenstruktur, senken sich auch elastische Fasern in dieses Gewebe ein. Im Knochen verhalten sie sich wie *Schulze* es beschreibt, d. h. geschlängelt und gebogen; nach *Schulze* können sie ihn auch wieder verlassen. Sie färben sich blasser als außerhalb des Knochens (Abb. 1).

Wo Bestandteile von Bändern in Knorpelgewebe ausstrahlen, lassen sich auch elastische Fasern in dasselbe hinein verfolgen. Zwischen Band und Knorpel liegt nicht eine scharfe Grenze, sondern eine Übergangszone. Gewisse Ligamenta interossea besitzen offenbar nicht nur knöcherne, sondern auch teilweise knorpelige Ansätze (Abb. 2). Ein Schnitt durch das Ligamentum cuneiforme II–III interosseum illustriert diesen Befund.

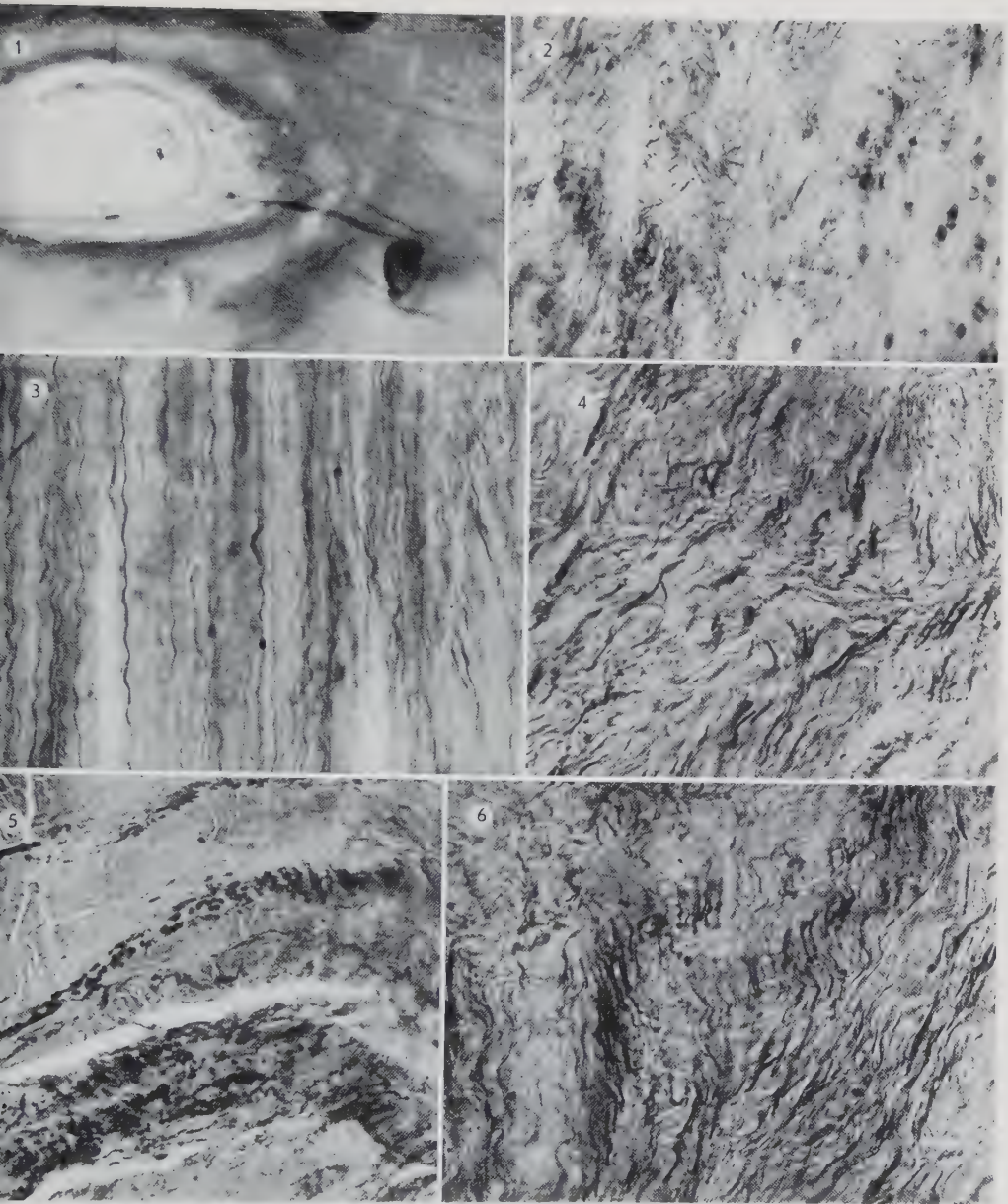
Befunde an einigen Bändergruppen.

Auf eine Beschreibung der einzelnen Fußbänder verzichten wir. Denn hinsichtlich sowohl des kollagenen als auch des elastischen Gewebes zeigen sie große Ähnlichkeit, und wo Verschiedenheiten bestehen, sind sie durch fließende Übergänge verbunden. Das Ligamentum calcaneonaviculare ist das einzige, das sich an Mikrotomschnitten erkennen läßt. Dem Vergleich der Bänder unter sich ebenso abträglich sind die zahlreichen individuellen Variationen in der makroskopischen Beschaffenheit und sogar in der Zahl derselben, ferner die häufige Gliederung in längere oberflächliche und kürzere tiefe Schichten, sowie die vielfache Verbindung mit Muskeln, alles Momente, die verschiedene funktionsbedingte Strukturen nahe beisammen erwarten lassen. Daß sich die von *Annovazzi* aufgestellten Typen nicht bestätigen ließen, ist ein weiterer Grund, dem Rate zu folgen, den *Benninghoff* für die makroskopisch-funktionelle Betrachtung gibt, nämlich gleich ganze Bandgruppen ins Auge zu fassen.

Von den den *Sprunggelenken* zugeordneten Bändern sind die hinteren reichlicher als die vorderen mit elastischem Gewebe versehen, und die lateralen wenigstens etwas reichlicher als die medialen. Das Lig. tibiofibulare posterius (Abb. 3) zeigt viele feinste und mittel-feine elastische Fasern der straffen Bündel. Es enthält nur wenig lockeres Zwischengewebe, in diesem aber überall die allgemein typischen Netze.

Als arm an elastischen Fasern hat das Lig. fibulotalare anterius zu gelten, aber es enthält solche im straffen wie im Zwischengewebe im Gegensatz zur Angabe *Annovazzis* (Abb. 4).

Abb. 1. Ligamentum metatarsium II–III interosseum, 44-jähriger Mann (athletischer Körperbautypus), elastische Fasern im Knochen, Querschnitt, $330\times$.
Abb. 2. Ligamentum cuneiforme II–III interosseum, 26-jährige Frau (leptosomer Körperbautypus), Übergangszone Band-Knorpel, Längsschnitt, $95\times$.
Abb. 3. Ligamentum fibulotalare posterius, 26-jährige Frau (leptosomer Körperbautypus),



Längsschnitt, 160 $\times$. *Abb. 4.* Ligamentum fibulotalare anterius, 45jährige Frau (pyknischer Körperbautypus), Längsschnitt, 160 $\times$; besonders elastinreiche Stelle. *Abb. 5.* Ligamentum talocalcaneare interosseum, 67jährige Frau (pyknischer Körperbautypus), Querschnitt, 95 $\times$. *Abb. 6.* Ligamentum talocalcaneare interosseum, 45jährige Frau (pyknischer Körperbautypus), Längsschnitt, 160 $\times$.

Besonders elastinreich fand ich das Lig. talocalcaneare interosseum in allen vier Fällen der Tab. 2. Durchgreifende Unterschiede konnte ich trotz der verschiedenen Körperbautypen nicht nachweisen. Das Band der 26jährigen Leptosomen wies eine große Zahl elastischer Fasern in den Bündeln wie im Zwischengewebe auf; bei den drei älteren Individuen waren sie spärlicher und dünner in den Bündeln, zahlreich und dick dagegen im Zwischengewebe.

In Flachschnitten durch den der entsprechenden Gelenkfläche des Caput tali anliegenden Teil des *Pfannenbandes* (Lig. calcaneo-naviculare) bilden die kollagenen Fasern ein anscheinend regelloses Geflecht, ähnlich wie die glatte Muskulatur in Schnitten durch das Myometrium (Abb. 7). Durch diese Eigentümlichkeit unterscheidet sich das Band von allen andern. Den kollagenen Fasern parallel und gleichmäßig verteilt sind sehr feine, in ihrem Durchmesser nur wenig variierende Elastinfasern angeordnet. Auf der Abb. 7 sind sie wegen der schwachen Vergrößerung nicht zu sehen, wohl aber auf den Abb. 11 und 12. Der Übergang der Bandmasse in den Knorpel erfolgt allmählich, denn in gelenknahen Schnitten liegen Knorpelzellen zwischen den kollagenen Bündeln. Die besondere Struktur der mittleren Bandteile ist wohl dadurch zu erklären, daß sie nicht wie gewöhnliche Bänder nur auf Zug, sondern auch auf Druck beansprucht werden; sie sind ja zwischen dem Taluskopf und der Sehne des Musculus flexor hallucis longus geradezu eingeklemmt. Die medialen und die lateralen Teile des Bandes zeigen die typische Struktur seiner kollagenen Substanz nicht und lassen sich daher von anderen Ligamenten nicht unterscheiden.

In den *dorsalen Bändern des Tarsus* distal von den Sprunggelenken und in den dorsalen Tarsometatarsalbändern sind die spärlichen elastischen Fasern gleichmäßig fein und regelmäßig verteilt. Sie verlaufen größtenteils den derben Bündeln parallel, viel seltener schräg zu ihnen. Lockeres Zwischengewebe ist kaum vorhanden (Abb. 8).

Im deutlichen Gegensatz zu den dorsalen sind in den langen, *oberflächlichen plantaren Bändern* die elastischen Fasern zahlreich und weisen erhebliche Dickenunterschiede auf. Sie sind vorwiegend im reichlich vorhandenen Zwischengewebe in strang- und bündelartigen Netzen angeordnet, also nicht regelmäßig verteilt wie dorsal.

Die tieferen und kürzeren *Plantarbänder*, sowie die Ligamenta interossea nehmen in bezug auf die Zahl, die Anordnung und die Dicke der elastischen Fasern eine Mittelstellung ein zwischen den dorsalen und den oberflächlichen plantaren Bändern.

Die *cubonavicularen Bänder* enthalten dorsal und plantar mehr elastisches Material als selbst die weiter medial gelegenen dorsalen und plantaren Tarsalbänder. Die Pars calcaneocuboidea des Ligamentum bipartitum ist elastinreicher als die Pars calcaneonavicularis.

Altersunterschiede.

Daß das elastische Gewebe wie an andern Stellen des Körpers auch in den Bändern des Fußes erst spät seine volle Ausgestaltung erreicht, zeigt der Vergleich des Säuglings mit dem Erwachsenen. Im Ligamentum calcaneonaviculare des vier Monate alten Kindes lassen sich nur ganz spärliche und feine elastische Fasern nachweisen, und selbst die Gefäße sind noch arm an solchen. Der Unterschied zwischen den Abb. 10 einerseits, 11 und 12 andererseits ist so augenfällig, daß sich eine ausführliche Beschreibung erübrigt. Was für das Pfannenband gilt, trifft auch für das Lig. talocalcaneare tibiale zu.

Unser Befund an den Bändern paßt gut zu der Feststellung *Schulzes*, laut welcher die elastischen Fasern im Periost des Zwanzigjährigen viel zahlreicher und doppelt so dick sind als beim Neugeborenen.

Die nicht nur absolut, sondern auch relativ gewaltige Zunahme der elastischen Fasern an Zahl und Dicke fällt offenbar in die Periode des Wachstums, denn der Unterschied zwischen dem Säugling und der 24jährigen Athletin ist viel größer als zwischen dieser und der 67jährigen Pyknika (Abb. 10, 11 und 12). Aus Mangel an entsprechendem Material kann ich nicht entscheiden, ob eine besonders lebhafte Vermehrung der elastischen Fasern gegen Ende des ersten und am Anfang des zweiten Lebensjahres eintritt, d. h. um die Zeit, wo der Mensch gehen und stehen lernt.

Der Vergleich der Präparate aus verschiedenen Lebensaltern (24 bis 88 Jahre), den die Nummern 6, 8, 10, 11, 14, 15, 16, 23, 25, 38 der Tabelle 2 ermöglichen, ergibt eine leichte Dickenzunahme der elastischen Fasern in höherem Alter. Dieselbe Feststellung hat *Toni* an den Ligamenta interarcualia gemacht und zwar, wie uns scheint, mit größerer Sicherheit als wir, da offenbar an den Bändern der Wirbelsäule individuelle Unterschiede weniger hervortreten als an den Fußbändern.

Im Ligamentum calcaneonaviculare (Abb. 10, 11, 12) fand ich auch eine deutliche Vermehrung der elastischen Fasern zwischen dem 24. und dem 67. Jahre; für die übrigen Fußbänder bin ich aber nicht in der Lage, eine Zu- oder Abnahme festzustellen. *Toni* beobachtete an der Wirbelsäule eine Verminderung mit fortschreitendem Alter.

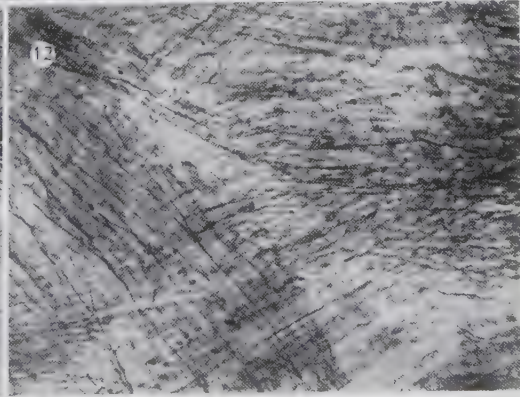
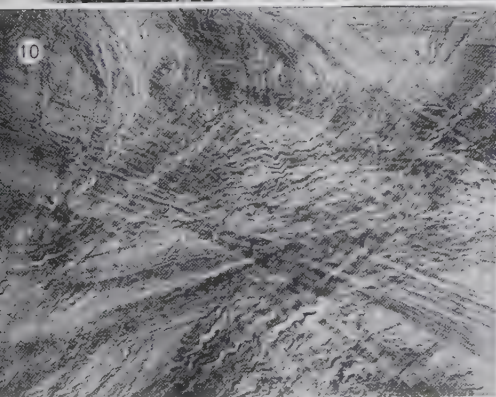
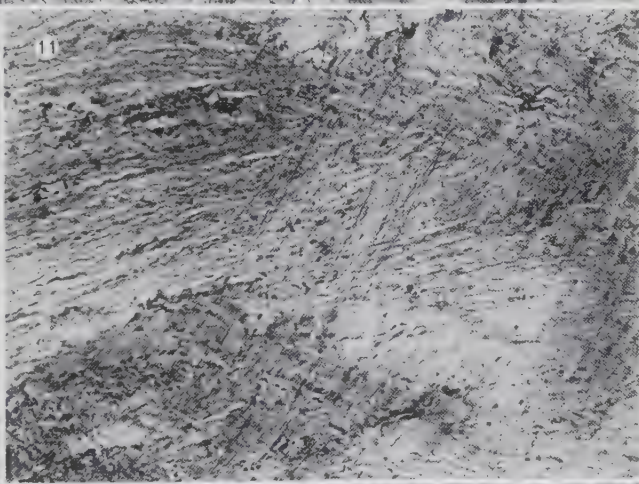
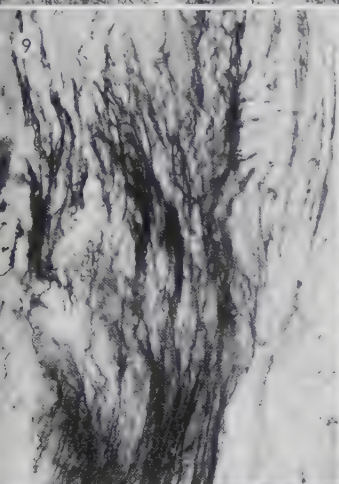
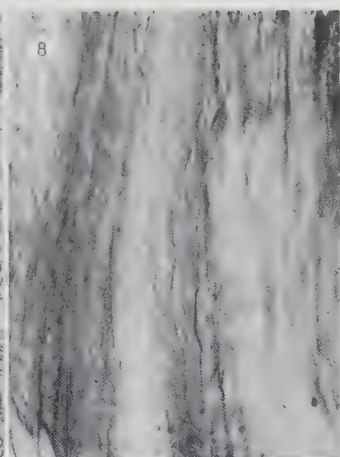
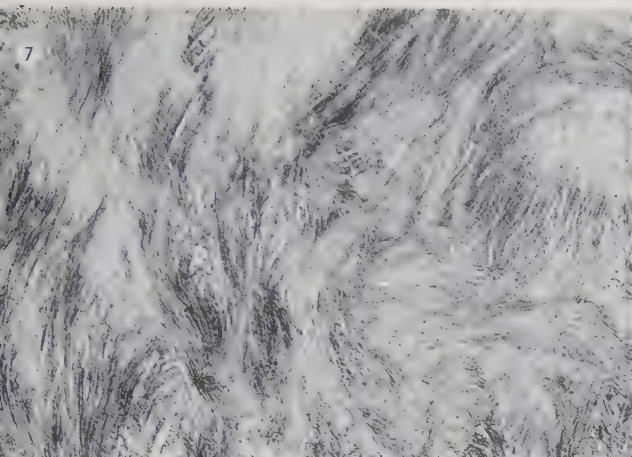
Das zahlenmäßige Verhalten der elastischen Fasern ist nur durch Auszählung derselben und zwar an ganzen Bandquerschnitten zu übersehen. Die Herstellung brauchbarer Schnitte ist schwierig und die Auszählung ungemein zeitraubend und wird an entsprechend vergrößerten Photographien erfolgen müssen. Auszählung von Gesichtsfeldern im Mikroskop und Umrechnung auf Quadratmillimeter nach dem Verfahren von *Toni* ergibt nur relative aber keine absoluten Werte.

Altersveränderungen im Sinne einer Alteration der elastischen Fasern selbst konnte ich nicht nachweisen. Dasselbe gilt für Veränderungen, die als pathologisch zu bewerten wären. Das bedeutet natürlich nicht, daß die Elastizität aller Bänder im physikalischen Sinne während des ganzen Lebens unverändert bleibt.

Für Unterschiede zwischen der rechten und der linken Körperhälfte und zwischen den Geschlechtern konnte ich keine Anhaltspunkte finden.

Hinsichtlich des Körperbautypus sehe ich keine sichere Verschiedenheit an den Fußbändern der einzelnen Gruppen. Für bindende Schlüsse wäre ein Material erforderlich, in welchem alle drei Typen in mehreren Altersklassen vertreten sind. Immerhin sei der Vermutung Raum gegeben, daß die in der Regel schon makroskopisch besonders kräftigen Bänder des Athleten reicher und die zarten Bänder des Pyknikers ärmer an elastischen Fasern sind, während der Leptosome eine Mittelstellung einnimmt.

Abb. 7. Ligamentum calcaneonaviculare (Pfannenband), 24jährige Frau (athletischer Körperbautypus), Längsschnitt, 19 $\times$. Bei dieser Vergrößerung sind die elastischen Fasern nicht sichtbar. *Abb. 8.* Ligamentum naviculocuboideum dorsale, 26jähriger Mann (leptosomer Körperbautypus), Längsschnitt, 95 $\times$. *Abb. 9.* Ligamentum naviculocuboideum plantare obliquum, 44jähriger Mann (athletischer Körperbautypus), Längsschnitt, 95 $\times$. *Abb. 10.* Ligamentum calcaneonaviculare, 4 Monate altes Kind, Längsschnitt, 95 $\times$. *Abb. 11.* Ligamentum calcaneonaviculare, 24jährige Frau (athletischer Körperbautypus), Längsschnitt, 95 $\times$. *Abb. 12.* Ligamentum calcaneonaviculare, 67jährige Frau (pyknischer Körperbautypus), Längsschnitt, 95 $\times$.



Funktionelle Beurteilung der Befunde.

Wenn wir unsere histologischen Feststellungen zu den Funktionen der Fußbänder in Beziehung bringen, wie sie zahlreiche Autoren beschrieben haben (*Fick, Bruno, Feßler, Roud, Straßer, Lucien, Hovelacque* und *Sourdin, Kuß, Ruotte* und *Frederici*), so gewinnen wir den Eindruck, daß nicht nur ihre Dicke eine funktionsbedingte Erscheinung ist, sondern auch ihr Elastingehalt. Das zeigt sich, sobald wir wie im deskriptiven Teil der Betrachtung topographisch und funktionell einheitliche Bandgruppen zugrundelegen.

Daß die hinteren Bänder an den Sprunggelenken relativ mehr elastische Fasern enthalten als die vorderen erweist sich darin als sinnvoll, daß jene in höherem Maße elastisch dämpfend und bremsend wirken müssen, denn sie werden mehr als die vorderen durch das Körpergewicht über den langen Hebelarm der unteren Extremität gespannt und insbesondere auf Elastizität beansprucht.

Im Gebiet des Tarsus und der tarsometatarsalen Junktoren halten wir die Ligamenta dorsalia, die Ligamenta interossea, die tiefen und die oberflächlichen plantaren Bänder auseinander. Hinsichtlich ihrer Dicke stehen die Ligamenta interossea und plantaria profunda an erster Stelle; auf sie folgen die oberflächlichen plantaren Bänder, und am dünnsten sind die dorsalen Ligamente. Eine relative Vermehrung der elastischen Fasern beobachten wir von den dorsalen Bändern über die Ligamenta interossea und plantaria profunda bis zu den oberflächlichen plantaren Apparaten. Funktionell sind die dorsalen Bänder den drei anderen Gruppen gegenüberzustellen.

Dem dorsalen Bandapparat, der alle tarsalen und tarsometatarsalen Amphiarthrosen überbrückt, kommt nach *Fick* vorwiegend Haltefunktion zu. Energisch auf Zug und Elastizität beansprucht würde er durch Kräfte, welche die longitudinalen und transversalen Gewölbe stärker zu runden bestrebt sind. Solche Kräfte vermögen wir unter physiologischen Bedingungen nur plantaren Muskeln und Sehnen zuzuschreiben. Groß im Vergleich zu denen, die bei der Belastung des Fußes wirken, dürften sie nicht sein. Die Abflachung der Gewölbe beim Stehen und Gehen, von *Bruno* röntgenologisch nachgewiesen, drängt die dorsalen Ränder der Gelenkspalten zusammen, entlastet also die dorsalen Ligamente. Dementsprechend sind diese im Vergleich zu allen andern unscheinbar dünn und nicht nur absolut, sondern auch relativ am ärmsten an Elastin.

Die Ligamenta interossea, plantaria profunda und plantaria superficialia gehören insofern zusammen, als sie bei Belastung des

Fußes durch erhebliche Kräfte gespannt werden. Ihre Länge wächst in der aufgezählten Reihenfolge, ihre Dicke nimmt in derselben Reihenfolge ab. Besonders deutlich ist der Unterschied zwischen den oberflächlichen und den tiefen Plantarbändern. Der Banddicke entspricht ihr absoluter Gehalt an elastischen Fasern. Ihr relativer Elastingehalt nimmt indessen von den Ligamenta interossea bis zu den oberflächlichen Plantarbändern zu; er steigt also mit der Länge des Bandes an und fällt mit der Dicke desselben. Wir glauben, diese Befunde wenigstens annähernd folgendermaßen verstehen zu können.

Bei der Belastung des Fußes werden die dorsalen Ränder der vertikalen Gelenkspalten aneinandergedrückt, die plantaren aber suchen sich voneinander zu entfernen. Einer plantarwärts klaffenden Eröffnung der Spalten wirkt unsere ganze Bandgruppe entgegen; die Ligamente werden gespannt, und ihre elastischen Fasern erfahren eine Dehnung.

Die Streckung des kollagenen Anteils wird hinsichtlich ihres Ausmaßes, absolut genommen, den Bandlängen entsprechend in den Ligamenta interossea am geringsten und in den oberflächlichen Plantarbändern am größten sein. Dabei werden die Bänder um so weniger auf Zug beansprucht, je näher sie den plantaren Fußpunkten der Spalten, bzw. dem durch sie verspannten Gewölbe liegen. Denn auf die Ligamenta interossea wirkt die Kraft, die sie anspannt über den längsten, auf die Ligamenta plantaria superficialia über den kürzesten Hebelarm; als Hebelarm hat die Distanz zwischen dem Fußpunkt des Gewölbes und dem Bandansatz zu gelten. Dieser Beanspruchung entspricht die Zugfestigkeit der Bänder, die in ihrer Dicke zum Ausdruck kommt.

Die elastischen Fasern sind hinsichtlich der Zugfestigkeit des Bandes in ähnlicher Weise wie die kollagenen bedeutsam. Darüber hinaus ist aber ihre spezifische Eigenschaft, eben die Elastizität, zu berücksichtigen. Relativ elastinreiche Ligamente sind wenig nachgiebigen Federn zu vergleichen. Sie setzen der Anspannung der kollagenen Bündel einen beträchtlichen Widerstand entgegen, und sobald die spannende Kraft nachläßt, wirken sie im Sinne eines starken Retraktionsbestrebens auf das ganze Band. Sie schützen es wirksam gegen bruske Anspannung und damit gegen Überdehnung. Mit der relativen Verarmung an Elastin verringert sich dieser Schutz. Im einzelnen gestalten sich die Verhältnisse folgendermaßen.

Die kurzen Ligamenta interossea sind wohl dauernd so gut wie gespannt und verändern ihre absolute Länge bei wechselnder Be-

lastung des Fußes kaum. Ruckweise Anspannung und damit eine Gefahr der Zerreißung kommt daher bei ihnen am wenigsten in Frage, und damit ist ihr relativ geringer Elastingehalt verständlich.

Bei den langen oberflächlichen Plantarbändern dagegen verkürzt sich die Distanz ihrer Haftstellen bei der Entlastung des Fußes in deutlichem Ausmaße. Sie sind daher einer plötzlichen, mit einem Ruck einsetzenden Anspannung in höherem Maße ausgesetzt. Die relativ große Zahl ihrer elastischen Fasern erklärt sich aus der Notwendigkeit einer wirksameren Dämpfung.

Die tiefen plantaren Bänder stehen mit ihrer Länge und mit ihrem relativen Elastinreichtum zwischen den oberflächlichen und den Ligamenta interossea. Damit werden offenbar auch sie den gestellten Anforderungen an ihre Elastizität gerecht. Wir möchten annehmen, die absoluten und die relativen Mengen sowohl des Kollagens als auch des Elastins seien in jedem Bande seiner Funktion angepaßt.

Wird der Fuß entlastet, so geht er bekanntlich in seine Gleichgewichtsform über, wobei die einzelnen Skelettstücke ihre Gleichgewichtslage einnehmen. Dieses Redressement hat nur ganz geringe Widerstände zu überwinden. Soweit es durch Bänder herbeigeführt wird und nicht durch Muskeln, sind es dieselben, die sich bei der Belastung des Fußes anspannen, aber zur Wirkung kommen ausschließlich die elastischen Fasern. Ihre Retraktionskraft äußert sich indessen nicht an demselben Hebelarm, über den die Bänder angespannt werden. Denn die Hypomochlien sind die dorsalen Ränder der Gelenkspalten. Der Hebelarm ist daher für die Ligamenta interossea am kürzesten und für die Ligamenta plantaria superficialia am längsten. Das macht wohl verständlich, daß die absolute Zahl der elastischen Fasern in den Ligamenta interossea am größten und in den oberflächlichen Plantarbändern am kleinsten ist. Jedes der drei Bänder dürfte annähernd mit demselben Drehmoment auf ein gegebenes Skelettstück einwirken; das wäre jedenfalls die ideale Lösung der Aufgabe, welche die Bandelastizität beim Redressement zu erfüllen hat.

Zusammenfassung.

In allen in der vorliegenden Arbeit untersuchten Bändern des menschlichen Fußes konnten wir, im Gegensatz zu älteren Angaben, elastische Fasern nachweisen und zwar sowohl in den kompakten Bündeln, als auch im lockeren Gewebe zwischen denselben. Sie durchziehen die Bänder in der Gestalt eines Netzes mit langen schmalen Maschen in ihrer ganzen Länge und sind zum größten Teil an

deren Ansatzstellen im Periost, teils aber auch im Knochen oder Knorpel verankert. Zwischen Band und Knorpel findet sich eine Übergangszone. An Hand seiner mikroskopischen Struktur läßt sich nur das Ligamentum calcaneonaviculare als solches erkennen. Im übrigen sind, noch begünstigt durch reichliche makroskopische und individuelle Variationen, quantitative und qualitative Unterschiede von Band zu Band so gering, daß sich nur ganze Bändergruppen, nicht aber einzelne Bänder unter sich vergleichen lassen. Am Sprunggelenk sind die hinteren Bänder relativ reichlicher als die vorderen und die lateralen etwas reichlicher als die medialen mit elastischem Gewebe versehen. Als elastinarm hat das Ligamentum fibulotalare anterius, als besonders reich dagegen das Ligamentum talocalcaneare interosseum zu gelten. Am Tarsus enthalten die oberflächlichen plantaren Bänder relativ mehr und dickere Elastinfasern als die dorsalen, während die tieferen plantaren Bänder und die Ligamenta interossea eine Zwischenstellung einnehmen. Vermehrung und Dickenzunahme der elastischen Fasern findet sicher während der Wachstumsperiode statt, ließ sich aber im Pfannenband (Lig. calcaneonaviculare) in bescheidenem Maße bis zum 67. Altersjahre nachweisen. Die Mengen der kollagenen und der elastischen Fasern in den einzelnen Bändern sind als funktionelle Anpassungen zu beurteilen.

Summary.

The present paper deals with the ligaments of the human foot. Contrasting to the opinions of other authors, elastic fibres could be found in both the compact bundles and in the loose tissue between them. The elastic fibres run the whole length of the ligaments in the shape of a netting with long narrow meshes and they are attached mainly at the same areas of the periost where the ligaments are inserted. A part of the elastic fibres is attached at the bone or at the cartilage. Between ligament and cartilage is a zone of transition. The calcaneonavicular ligament is the only ligament which can be identified by its microscopical structure. As for the rest besides the many macroscopical and individual variations, the quantitative as well as the qualitative differences of the ligaments are too little; therefore some groups only of ligaments can be compared with each other, not the individual ligaments themselves. Both the posterior and the lateral ligaments of the ankle joint contain a larger amount of elastic fibres than the anterior, respectively the medial ones. The anterior talofibular ligament contains a small amount and

the talocalcanean interosseous ligament a large amount of elastic elements. The superficial plantar ligaments of the tarsus contain a larger number of thick elastic fibres than the dorsal ligaments; the deeper plantar ligaments and the interosseous ligaments are intermediate between the two with regards to the number of elastic fibres. During the period of growth an increase of thickness of the elastic fibres takes place as well as a multiplication of their number. In the plantar calcaneonavicular ligament appear these phenomena at a restricted scale up to 67 years of age. The relative amount of collagenous and elastic fibres in the individual ligament is the result of functional adaptation.

Résumé.

Contrairement aux données anciennes, l'auteur a trouvé dans tous les ligaments du pied humain des fibres élastiques; elles se rencontrent aussi bien dans les trousseaux compacts que dans le tissu lâche qui entoure ceux-ci. Ces fibres forment dans les tendons un réseau à mailles longues et étroites, elles s'attachent pour la plupart aux points d'insertion au niveau du périoste, en partie aussi à l'os ou au cartilage. Il existe une zone de transition entre ligament et cartilage. Seul le lig. calcanéoscaphoïdien inférieur peut être reconnu comme tel d'après sa structure histologique; les autres ligaments, qui présentent d'ailleurs des variations macroscopiques individuelles très nombreuses, offrent des différences quantitatives et qualitatives si minimales que l'on ne peut les comparer individuellement entre eux: on ne peut comparer que des groupes de ligaments. Dans l'articulation tibiotarsienne les ligaments postérieurs renferment des fibres élastiques plus nombreuses que les ligaments antérieurs; il en est de même pour les ligaments latéraux comparés au groupe interne. Le faisceau péronéo-astragalien antérieur est particulièrement pauvre en fibres élastiques, le lig. astragalo-calcaneen interosseux en est particulièrement riche. Au niveau du tarse, les ligaments plantaires superficiels présentent des fibres élastiques relativement plus nombreuses et plus épaisses que les groupes dorsaux, tandis que les ligaments plantaires profonds et les ligaments interosseux doivent être classés à ce point de vue dans un groupe intermédiaire. L'augmentation du nombre et l'épaississement des fibres élastiques prennent place certainement pendant la période de croissance: on peut toutefois démontrer des phénomènes de croissance modérés dans le ligament calcanéoscaphoïdien inférieur jusqu'à la 67^{me} année. La teneur respective des fibres collagènes et élastiques de ligaments doit être considérée comme le résultat d'une adaptation fonctionnelle.

LITERATUR.

- Aichel, O.*: Z. Anat. u. Entwicklungsgesch. 76, 1, 1925. – *Annovazzi, G.*: Monit. zool. ital. 36, 286, 1926; Arch. di sci. biol. 11, 467, 1928. – *Auerbach, F.*: 65. Jahresber. d. schlesisch. Ges. f. vaterländische Kultur, p. 132, 1888. – *Bargmann, W.*: Histologie und Mikroskopische Anatomie des Menschen, I. Bd., Stuttgart 1948. – *Beclard, P. A.*: Annal. de la méd. physiol. (Paris) 1, 1, 1826. – *Benninghoff, A.*: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, 2. Aufl., p. 46, 48, 286, München/Berlin, 1942. – *Braun, H.*: Über die Natur der elastischen Nachwirkung, Winkelmanns Handbuch der Physiologie Bd. I, p. 321, Berlin, 1891. – *Braus, H.*: Anatomie des Menschen, 2. Aufl., Bd. I, p. 29, Berlin 1929. – *Bruni, A.*: Ophthalmologia 1, 169, 1909. – *Bruno, G.*: Chirurg 3, 7, 1935; 7, 7, 1935; Anat. Anz. 87, 176, 1938; Arch. ital. Anat. e Embriol. 31, 1, 1933. – *Bucher, O.*: Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen, p. 74 und 84, Bern 1948. – *D'Urso, A.*: Atti della Accad. Gioenia Ser. IV, T. 20, XVI, 1907. – *Frederici, A.*: Anat. Anz. 87, 30, 1938. – *Fessler, J.*: Festigkeit der menschlichen Gelenke mit besonderer Berücksichtigung des Bandapparates, Habilitationsschrift, München 1894; Dtsch. Z. Chir. 82, 1, 1906. – *Fick, R.*: Handbuch der Anatomie und der Mechanik der Gelenke, Bd. III, p. 593 und Bd. I, p. 10 und 29, Jena 1911. – *His, W.*: Anat. Anz. 15, 360, 1899. – *Hovelacque, A. et A. Sourdin*: Ann. Anat. pathol., Anat. norm., méd. chir. 10, 469, 1933. – *Im Obersteg, J.*: Acta Anat. 5, 147, 1948. – *Köl liker, A.*: Handbuch der Gewebelehre des Menschen, Bd. II, p. 115, Leipzig 1889. – *Kuß, G.*: Bull. Mém. Soc. Anat. 12, 221, Paris 1910. – *Levi, G.*: Trattato di Istologia, p. 352, 389, Torino 1927. – *Livini, F.*: Arch. ital. Anat. e Embriol. 8, 425, 1907; Monit. zool. ital. 10, 12 u. 267, 1899. – *Lucien, M.*: C. R. Assoc. Anat. 11. Réunion, p. 182, 1909; Bibl. Anat. 18, 53, 1908; 19, 127, 1909. – *Mayer, S.*: Histologisches Taschenbuch, Leipzig 1887. – *Meyer, K. H. und C. Ferri*: Pflügers Arch. ges. Physiol. 238, 78, 1936. – *Marsiglia, G.*: Internat. Mschr. f. Anat. u. Physiol. 29, 341, 1913. – *Maximow, A.*: Bindegewebe und blutbildende Gewebe, in v. Möllendorffs Handb. d. mikr. Anat. d. Menschen, Bd. II, p. 516 und 324, Berlin 1927. – *Merkel, F.*: Handb. d. topogr. Anat., Bd. III, p. 778, Braunschweig 1907. – *Petersen, H.*: in v. Möllendorffs Handb. d. mikr. Anat. d. Menschen, Bd. II, p. 525, Berlin 1930. – *Pfitzner, W.*: Z. f. morphol. Anthropol. 5, 201, 1893. – *Ranvier, L.*: Traité technique d'histologie: Tissue conjonctif lâche, fibres élastiques, p. 298, Paris 1888. – *Rauber-Kopsch, F.*: Lehrbuch und Atlas der Anatomie, 16. Aufl., Bd. I, p. 54, 59, 330, Leipzig 1940. – *Romeis, B.*: Taschenbuch der mikroskopischen Technik, 14. und 15. Aufl., München und Berlin 1943 und 1948. – *Roud, G.*: Mécanisme des articulation et des muscles de l'homme, p. 283, Paris, 1913. – *Ruotte, P.*: Arch. province. chir. 6, 40, 1887. – *Schaffer, J.*: Lehrbuch der Histologie und Histogenese, p. 87, Leipzig 1933. – *Schuhmacher, S.*: Grundriß der Histologie des Menschen, p. 25, Wien 1934. – *Schulze, K.*: Anat. Hefte 6, 117, 1896. – *Sobotta, J.*: Lehrbuch der Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen, München 1939. – *Stöhr, Ph.*: Lehrbuch der Histologie von W. von Möllendorff, 23. Aufl., Jena 1933. – *Straßer, H.*: Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik, Bd. III, Berlin 1917. – *Taddei, D.*: Le fibre elastiche nei tessuti di cicatrice, Annuario della università di Pisa per l'anno accademico 1922-1923, Pisa 1923. – *Testut, L.*: Traité d'Anatomie humaine, T. I, 7e éd., Paris 1921. – *Tafani, A.*: Arch. ital. di biol. 8, 60, 1887. – *Toldt, C.*: Lehrbuch der Gewebelehre, p. 128, Stuttgart 1877. – *Toni, G.*: Boll. Soc. ital. di Biol. Speriment. 24, 662, 1948. – *Triepel, H.*: Anat. Hefte 10, 1, 1898; Anat. Anz. 15, 300, 1899. Eingegangen 10. Juni 1950.

